

HOWAFLEX2MARKET

# DEFINITION DER LADESTRATEGIEN UND IHRE QUALITATIVE BEWERTUNG

Deliverable 3.1

Regina Hemm, Carlo Corinaldesi, Lisa Diamond, Bernadette Fina

**AIT Austrian Institute of Technology GmbH**

Tarek Ayoub, Lea Wallensteiner, **World-Direct**

Frank Stocker, Kerstin Ehgartner, Walter Salzmann, **Austria Email**

## Projektleitung:

Regina Hemm

regina.hemm@ait.ac.at

+43 664 88335515

24.06.2025



## INHALTSVERZEICHNIS

|   |    |
|---|----|
| INHALTSVERZEICHNIS .....  | 2  |
| KURZFASSUNG .....   | 3  |
| 1 Einleitung & Motivation .....   | 4  |
| 2 Voraussetzungen/Beeinflussende Faktoren.....  | 5  |
| 2.1 Fairness .....  | 5  |
| 2.2 Regulatorische Rahmenbedingungen.....   | 8  |
| 2.2.1 Gesetzgebung für Energiegemeinschaften auf EU-Ebene .....   | 8  |
| 2.2.2 Gesetzgebung für Energiegemeinschaften auf nationaler Ebene.....  | 9  |
| 2.2.3 Fokus auf gemeinschaftliche Erzeugungsanlagen nach EIWOG §16a.....  | 10 |
| 2.3 Dynamische und statische Aufteilungsschlüssel in der gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage.....                               | 11 |
| 2.3.1 Schritt 1-8 Umsetzung einer Energiegemeinschaft .....   | 12 |
| 2.3.2 Regulatorische Anforderungen zur Abrechnung von Regelreserve und ihre Umsetzung<br>15                                     |    |
| 3 Use Cases und Ladestrategien.....   | 16 |
| 3.1 Use Cases und ihre Ladestrategien sowie Nebenziele .....  | 18 |
| 3.1.1 Use Case 1: PV-Eigenverbrauchsoptimierung.....  | 18 |
| 3.1.2 Use Case 2: Regelreserve.....   | 18 |
| 3.1.3 Use Case 3: Kombination aus PV und Regelreserve .....   | 19 |
| 3.1.4 Use Case 4: Lastverschiebeprodukt .....   | 20 |
| 3.1.5 Nebenziel 1: Komfort .....  | 20 |
| 3.1.6 Nebenziel 2: Lastspitzenreduktion .....   | 21 |
| 3.1.7 Nebenziel 3: CO <sub>2</sub> -Reduktion .....   | 21 |
| 3.2 Mögliche Fairnessprinzipien bei On-Off Warmwasserhängespeichern zur Verteilung der RE-Abrufe sowie PV-Überschuss .....      | 22 |
| 3.2.1 Gleichmäßig bezogen auf Anzahl der Warmwasserhängespeicher .....  | 24 |
| 3.2.2 Gleichmäßig bezogen auf Nennleistung .....  | 25 |
| 3.2.3 Prozent auf Basis des Warmwasserverbrauchs im gewählten Zeitraum .....  | 25 |
| 3.2.4 Unterscheidung für alle Ladestrategien ob ein Warmwasserhängespeicher mehr oder ein Warmwasserhängespeicher weniger ..... | 26 |
| 3.2.5 Legionellenschaltung .....  | 27 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.2.6 | Umgang mit Leistungsänderungen .....  | 27 |
| 3.2.7 | Maximale Leistungsbegrenzung .....  | 28 |
| 3.3   | Fairness und Aufteilungsschlüssel innerhalb der gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage<br>28 |    |
| 4     | Zusammenfassung und Ausblick .....  | 29 |
| 5     | Abkürzungsverzeichnis.....  | 29 |
| 6     | Abbildungsverzeichnis.....  | 30 |

## KURZFASSUNG

Deliverable D3.1 befasst sich mit der Definition und qualitativen Bewertung von Ladestrategien für elektrische Warmwasserhängespeicher für gemeinschaftliche Erzeugungsanlagen oder Regelreservebereitstellung. Ziel ist es, durch gezielte Steuerung der Speicher den Eigenverbrauch von lokal erzeugtem Photovoltaikstrom zu erhöhen, Flexibilität für das Stromnetz bereitzustellen und dabei Aspekte wie Fairness, Komfort und technische Machbarkeit durch einfach umsetzbare Regelstrategien zu berücksichtigen.

Zentraler Bestandteil der Arbeit ist die Berücksichtigung von Fairness – sowohl aus theoretischer als auch aus praktischer Sicht. Untersucht wurden verschiedene Aufteilungsschlüssel für die Energieverteilung sowie deren technische Umsetzbarkeit. Sie ist entscheidend für die Akzeptanz der Nutzer:innen.

Für die Anwendungsfälle Photovoltaik(PV)-Eigenverbrauchsoptimierung und der Bereitstellung von Regelreserve wurden konkrete Ladestrategien entwickelt. Sie bestehen aus definierten Ladefenstern, Sperrzeiten und Priorisierungslogiken und können modular miteinander kombiniert werden. Diese Flexibilität erlaubt es, sowohl wirtschaftliche als auch technische und soziale Zielsetzungen auszubalancieren.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der Komfort der Nutzer:innen. Um sicherzustellen, dass immer ausreichend Warmwasser zur Verfügung steht, wurden Komfortgrenzen definiert, die als Mindeststandard in jeder Ladestrategie berücksichtigt werden können. Die Integration solcher Komfortstufen soll die Akzeptanz der neuen Technologien stärken.

Auch die mögliche Reduktion von Netzlastspitzen durch gezielte Verbrauchsverlagerung wurde thematisiert. Zwar ist die technische Umsetzung unkompliziert, allerdings fehlen derzeit noch regulatorische Anreize oder geeignete Tarifmodelle, um diese Potenziale wirtschaftlich nutzbar zu machen.

Zur gerechten Energieverteilung wurden verschiedene Fairnessstrategien untersucht, etwa eine Zuteilung nach Verbrauch, Speichergröße oder Nennleistung. Diese wurden mathematisch formuliert und sollen im weiteren Projektverlauf simuliert werden, um eine transparente, nachvollziehbare und technisch robuste Umsetzung sicherzustellen.

Die entwickelten Ladestrategien sollen auf verschiedene Gebäude und Systeme übertragbar gemacht werden, um ein skalierbares Konzept, das konkrete Beiträge zur Umsetzung der Energiewende leisten kann, zu erhalten.

## 1 EINLEITUNG & MOTIVATION

Zur Erreichung der Klimaziele wird der Ausbau erneuerbarer Energieträger sowohl auf nationaler als auch internationaler Ebene stark vorangetrieben. Besonders Photovoltaik nimmt dabei eine zentrale Rolle ein; die Anlagen werden häufig dezentral im Verteilnetz installiert (z.B. Auf-Dach-Anlagen im Einfamilienhausbereich). Sowohl auf der Erzeugungs- als auch auf der Verbrauchsseite ist daher Innovation notwendig, damit das Stromnetz, auch bei einer höheren Durchdringung von volatilen erneuerbaren Energieträgern resilient bleibt. Um den gezielten Verbrauch bei erneuerbarem Erzeugungsüberschuss zu beanreizen, wurde im Rahmen des *Clean Energy for All Europeans Package* (2019) das Konzept der Energiegemeinschaften auf europäischer Ebene erstmals vorgestellt. Richtlinien für Erneuerbare-Energiegemeinschaften wurden in der Renewable Energy Directive II<sup>1</sup> festgeschrieben, während Richtlinien für Bürgerenergiegemeinschaften in der Electricity Market Directive<sup>2</sup> zu finden sind. Die europäische Gesetzgebung musste innerhalb von 1-2 Jahren in nationales Recht transferiert werden, was im Rahmen des Erneuerbaren-Ausbau Gesetzespakets bereits erfolgreich durchgeführt wurde. An dieser Stelle muss jedoch auch erwähnt werden, dass geografisch kleinere Ausprägungen von Energiegemeinschaften in Österreich bereits seit 2017 umgesetzt werden dürfen. Diese sind unter der Bezeichnung „gemeinschaftliche Erzeugungsanlagen“ bekannt und werden hauptsächlich in einzelnen Mehrparteienhäusern, zwischen Gebäuden desselben Grundstücks oder Gebäuden im unmittelbaren Nahebereich umgesetzt. Voraussetzung ist, dass das öffentliche Stromnetz nicht genutzt wird („behind the meter“). Die gesetzlichen Grundlagen für „gemeinschaftliche Erzeugungsanlagen“ finden sich im Elektrizitätswirtschafts- und Organisationsgesetz – EIWOG §16 a, und zukünftig in der Neuauflage des Elektrizitätswirtschaftsgesetzes, dem Elwg.

Darüber hinaus ermöglichen weitere europäische Richtlinien explizit kleineren Verbrauchern diskriminierungsfreien Zugang zur Teilnahme an Märkten oder für die Bereitstellung von Systemdienstleistungen. Insbesondere durch Demand Side Management (DSM) bereitgestellte Flexibilität, wie beispielsweise in HoWaFlex2Market in Form von intelligent gesteuerten elektrischen Warmwasserhängespeichern, kann dazu genutzt werden, den Verbrauch im Rahmen dieser neuartigen Konzepte

---

<sup>1</sup> EUR-Lex, Directive (EU) 2018/2001 of the European parliament and of the council of 11 december 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources, 2018, URL [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2018.328.01.0082.01.ENG&toc=OJ:L:2018:328:TOC](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.328.01.0082.01.ENG&toc=OJ:L:2018:328:TOC).

<sup>2</sup> EUR-Lex, Directive (EU) 2019/944 of the European parliament and of the council of 5 june 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending directive 2012/27/EU, 2019, URL <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:32019L0944>.

weiter zu flexibilisieren. Die elektrischen Warmwasserhängespeicher werden dabei als effiziente Energiespeicher eingesetzt. Damit sollen der Netzausbaubedarf verzögert, Ressourcen effizienter genutzt und der Anteil an erneuerbaren Erzeugungsanlagen erhöht werden.

Der Fokus des Projektes liegt vorrangig darauf, bereits bestehende Methoden zur Anbindung und intelligenten Steuerung der Warmwasserhängespeicher unter verschiedenen Gesichtspunkten zu evaluieren und weiterzuentwickeln, und in einen großflächigen Demonstrationsversuch zu übersetzen.

Dieses Deliverable beschreibt die technischen, verhaltensrelevanten sowieso fairnessbezogenen Aspekte, welche bei den Ladestrategien berücksichtigt werden, sowie die daraus resultierende Umsetzung und mathematische Formulierung der Ladestrategien. Ziel ist es, möglichst einfach umsetzbare, regelbasierte Ladestrategien zu kreieren. Damit soll das Konzept zukünftig auch auf andere Gebäude und technische Einheiten übertragen werden können.

## 2 VORAUSSETZUNGEN/BEEINFLUSSENDE FAKTOREN

### 2.1 Fairness

Der Begriff „Fairness“ wurde aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet, und zwar aus theoretischer bzw. definitionstechnischer Sicht, in Hinblick auf die möglichen Aufteilungsschlüssel, im Rahmen der Kund:innenumfrage, sowie in der technischen Umsetzung im Rahmen der Regelstrategien.

**Theoretische Sicht (aus Literatur):** Durch die herangezogene Literatur wurde zunächst das Thema aus allgemeiner, sowie strombezogener und rechtlicher Sicht erörtert. Dabei wurde untersucht, wie Fairness definiert wird und welche unterschiedlichen Facetten der Begriff umfasst. Auf allgemeiner Ebene lässt sich die Fairnesswahrnehmung in drei zentrale Dimensionen unterteilen: distributive, prozedurale und interaktionale Gerechtigkeit.

- **Distributive Gerechtigkeit** bezieht sich auf die Fairness der Ergebnisverteilung. Hierbei wird bewertet, wie gerecht die Verteilung von Ressourcen und Ergebnissen empfunden wird. Dies umfasst beispielsweise Gehälter, Boni, Beförderungen und andere Belohnungen. Laut der Equity-Theorie von Adams (1965)<sup>3</sup> vergleichen Menschen ihr eigenes Input-Output-Verhältnis mit dem anderer, um die Fairness zu beurteilen. Neben diesem Leistungsprinzip spielt auch die Bedarfsgerechtigkeit eine Rolle, bei der darauf geachtet wird, ob die individuellen Bedürfnisse der Betroffenen bei der Verteilung berücksichtigt werden.
- **Prozedurale Gerechtigkeit** bezieht sich auf die Fairness der Verfahren, die zur Entscheidungsfindung führen. Dabei wird untersucht, ob die Prozesse transparent, konsistent und

---

<sup>3</sup> Adams, J. S. (1965). Inequity in Social Exchange. In L. Berkowitz (Ed.), *Advances in Experimental Social Psychology* (Vol. 2, pp. 267-299). New York: Academic Press.

unparteiisch sind. Leventhal (1980<sup>4</sup> identifizierte sechs Kriterien für prozedurale Gerechtigkeit, darunter Konsistenz, Unvoreingenommenheit, Genauigkeit, Korrigierbarkeit, Repräsentation und ethische Richtigkeit. Ein weiteres wichtiges Konzept in diesem Zusammenhang ist das sogenannte „Voice“-Prinzip, das von Thibaut und Walker (1975)<sup>5</sup> eingeführt wurde. Es besagt, dass die Möglichkeit, eigene Meinungen und Bedenken in den Entscheidungsprozess einzubringen, als entscheidend für die Wahrnehmung von prozeduraler Gerechtigkeit gilt.

- **Interaktionale Gerechtigkeit** bezieht sich auf die Fairness in der zwischenmenschlichen Behandlung. Hierbei wird bewertet, wie respektvoll und würdevoll Menschen in ihren Interaktionen behandelt werden. Bies und Moag (1986)<sup>6</sup> unterteilten die interaktionale Gerechtigkeit in zwei Dimensionen: die interpersonale Gerechtigkeit, die sich auf Höflichkeit und Respekt konzentriert, und die informationelle Gerechtigkeit, die sich mit Ehrlichkeit und der Bereitstellung von Erklärungen beschäftigt.

Der Fokus im Rahmen der Entwicklung der Ladestrategien wurde auf die Frage der distributiven Gerechtigkeit gelegt, bei der der 3 Aspekte im Vordergrund stehen (Colquitt et al., 2015)<sup>7</sup>:

- **Ergebnisgerechtigkeit:** Fairness der Verteilung von Ergebnissen und Ressourcen, unabhängig von den individuellen Beiträgen.
- **Leistungsgerechtigkeit:** Gerechtigkeit basierend auf dem individuellen Beitrag oder der Investition in ein System. Es wird davon ausgegangen, dass Menschen entsprechend ihrer Leistung belohnt werden sollten.
- **Bedarfsgerechtigkeit:** Verteilung von Ressourcen basierend auf den individuellen Bedürfnissen. Hier steht im Vordergrund, dass Menschen mit höheren Bedürfnissen mehr Unterstützung erhalten.

Über die entwickelten Ladestrategien repräsentiert sind Ergebnisgerechtigkeit und Bedarfsgerechtigkeit.

Im Rahmen der strombezogenen Analyse wurden dynamische und statische Aufteilungsschlüssel hinsichtlich ihrer Fairness diskutiert und dabei auch Vergleiche zu etablierten und von Kund:innen

---

<sup>4</sup> Leventhal, G. S. (1980). What Should Be Done with Equity Theory? In K. J. Gergen, M. S. Greenberg, & R. H. Willis (Eds.), *Social Exchange: Advances in Theory and Research* (pp. 27-55). New York: Plenum.

<sup>5</sup> Thibaut, J., & Walker, L. (1975). *Procedural Justice: A Psychological Analysis*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

<sup>6</sup> Bies, R. J., & Moag, J. S. (1986). Interactional Justice: Communication Criteria of Fairness. In R. J. Lewicki, B. H. Sheppard, & M. H. Bazerman (Eds.), *Research on Negotiation in Organizations* (Vol. 1, pp. 43-55). Greenwich, CT: JAI Press.

<sup>7</sup> Colquitt, J. A., & Rodell, J.B. (2015). Measuring justice and fairness. In *The Oxford handbook of justice in the workplace* 1: 187–202.

gewohnten Konzepten, wie beispielsweise der Betriebskostenabrechnung in Mehrparteienhäusern, berücksichtigt.

**Fairnessempfinden bei der Projekt-Demo:** Da Fairness stark subjektiv geprägt ist und sowohl kulturelle als auch soziologische Unterschiede aufweist, wird dieser Aspekt ebenfalls im Rahmen der Kund:innenbefragung aufgegriffen. Es wurden Fragen definiert mit dem Ziel herauszufinden, welche Aufteilungsstrategie von den Kund:innen als besonders „fair“ empfunden wird und was ihnen im gesamten Teilnahmeprozess besonders wichtig ist. Details dazu finden sich im entsprechenden Deliverable D2.2.

**Umsetzung von Fairness in den Ladestrategien:** Einen weiteren Bereich umfasste die technische Umsetzung der Fairness bei der Aufteilung des Überschussstroms auf die Warmwasserhängespeicher. Gewisse Aspekte können praktisch nicht miteinbezogen werden, wie beispielsweise die Anzahl der Bewohner:innen, Wohnungsgröße, Einkommen etc., da diese Informationen nicht vorliegen und aufgrund von Datenschutzbestimmungen nicht verwendet oder erhoben werden können. Hingegen können Verbrauch oder Warmwasserhängespeichergröße berücksichtigt werden, was zwangsläufig wieder zur Fairnessfrage zurückführt und einen Einfluss auf die wahrgenommene Fairness mit sich bringt. Die entwickelten grundsätzlichen Fairnesskonzepte zur Aufteilungslogik wurden in mathematische Formulierungen übertragen. Im Anschluss soll im Rahmen von Simulationen aber auch der Demos festgestellt werden, wie sich die Aufteilung beim Einsatz dieser Strategien verhält und mittels Befragungen auch erhoben werden, wie sie wahrgenommen wird. Die Strategien wurden dabei vorrangig für On-Off Warmwasserhängespeicher entwickelt.

### **Energiearmut:**

Der Begriff der Energiearmut ist in diesem Kontext relevant, und soll dazu dienen, Haushalte mit besonderem Unterstützungsbedarf zu identifizieren. Betroffene Haushalte sind dabei Haushalte mit:

- Einkommen unter Armutsgefährdungsschwelle
- gleichzeitig überdurchschnittliche hohen Energiekosten (schlechte E-Effizienz)
- gleichzeitig besonders niedrigen Energiekosten (Energie nicht mehr leistbar)
- energiebezogenen Zahlungsrückständen

Im Entwurf des in Österreich geplanten EIWG gibt es ebenfalls eine Definition von Energiearmut: § 5. (1) Für die Messung von Energiearmut können insbesondere folgende Indikatoren herangezogen werden:

#### 1. Objektive Indikatoren:

- a) Haushalte mit Einkommen unter der Armutsgefährdungsschwelle und gleichzeitig überdurchschnittlich hohen Energiekosten (definiert als 140% der medianen Energiekosten)
- b) Haushalte mit Einkommen unter der Armutsgefährdungsschwelle und gleichzeitig besonders niedrigen Energiekosten (definiert als Energiekostenanteil von 4% am Haushaltseinkommen). Es wird davon ausgegangen, dass hier die Energie nicht mehr leistbar ist.

## 2. subjektive Indikatoren:

- a) Haushalte mit Einkommen unter der Armutsgefährdungsschwelle, die die Wohnräume nicht angemessen warmhalten können oder
- b) Haushalte mit Einkommen unter der Armutsgefährdungsschwelle, die Zahlungsrückstände bei Wohnnebenkosten wie Strom oder Heizung haben; oder

## 3. ergänzende Indikatoren:

- a) Haushalte mit Einkommen unter der Armutsgefährdungsschwelle, deren Wohnräume von schlechter Bausubstanz gekennzeichnet sind (Probleme durch feuchte Wände oder Fußböden, Fäulnis in Fensterrahmen oder Fußböden, undichtes Dach); oder
- b) Strom-, Gas- oder Fernwärmepreise für Haushaltskundinnen und Haushaltskunden oder
- c) Endenergieverbrauch pro Quadratmeter im Wohngebäudesektor.

Im Rahmen des Projekts ist es nicht möglich, auf Basis definierter Kriterien direkt zu erheben, ob Haushalte von Energiearmut betroffen sind. Dennoch kann im Zuge der Nutzer:innenumfrage ein Stimmungsbild zu diesem Themenfeld eingeholt werden. Dabei sollen insbesondere Einstellungen und Meinungen zu potenziellen Unterstützungsansätzen – wie etwa sozialen Tarifen oder einer priorisierten Energieversorgung betroffener Haushalte – erfasst werden. Zudem wird die grundsätzliche Bereitschaft der Nutzer:innen zur Unterstützung von Haushalten mit erhöhtem Risiko für Energiearmut erhoben.

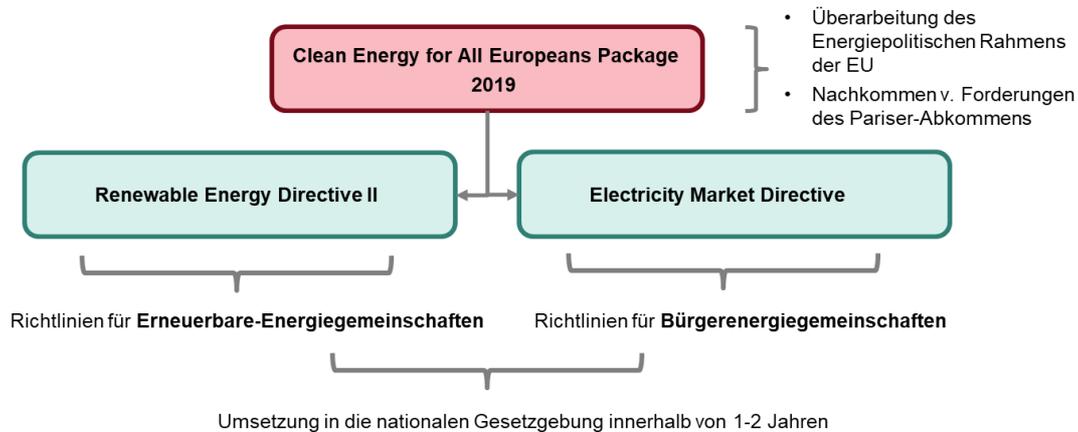
## 2.2 Regulatorische Rahmenbedingungen

### 2.2.1 Gesetzgebung für Energiegemeinschaften auf EU-Ebene

Die Historie der Energiegemeinschaften in Österreich beginnt bereits im Jahr 2017. In Anlehnung an das in Deutschland etablierte „Mieterstrommodell“ wurde in Österreich die Umsetzung der „gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage“ ermöglicht. Unter einer „gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage“ werden kleinräumige Energiegemeinschaften verstanden, die in einzelnen Mehrparteienhäusern, zwischen Gebäuden desselben Grundstücks oder Gebäuden im unmittelbaren Nahebereich umgesetzt werden. Ein wesentliches Kriterium hierbei ist, dass das öffentliche Stromnetz nicht zur Energieübertragung genutzt werden darf, weshalb es sich bei „gemeinschaftlichen Erzeugungsanlagen“ um „behind-the-meter“ Konzepte handelt.

Mit dem *Clean Energy for All Europeans Package*, das eine Überarbeitung des energiepolitischen Rahmens der EU darstellt, unter anderem, um den Forderungen des Pariser Abkommens nachzukommen, wurde im Jahr 2019 die nötige EU-rechtliche Voraussetzung für geografisch gesehen größere Energiegemeinschaften geschaffen. Das *Clean Energy for All Europeans Package* besteht aus insgesamt acht Direktiven, wobei zwei relevant für Energiegemeinschaften sind. Richtlinien für Erneuerbaren-Energiegemeinschaften wurden in der Renewable Energy Directive II festgeschrieben, während Bürgerenergiegemeinschaften in der Electricity Market Directive aus rechtlicher Perspektive erstmals abgebildet sind (siehe Abbildung 1). Die einzelnen EU Mitgliedsstaaten waren daraufhin verpflichtet, die EU Direktiven innerhalb von 1-2 Jahren in nationales Recht umzusetzen.

Abbildung 1: Rechtlicher Rahmen für Energiegemeinschaften auf EU-Ebene



## 2.2.2 Gesetzgebung für Energiegemeinschaften auf nationaler Ebene

In Bezug auf die Umsetzung der EU-Vorgaben zu Energiegemeinschaften in nationales Recht durfte sich Österreich als Pionier bezeichnen. Als eines von wenigen Ländern gelang es in Österreich, den knappen Zeitrahmen von 1-2 Jahren einzuhalten und Energiegemeinschaften Mitte 2021 im Rahmen des Erneuerbaren-Ausbau-Gesetzespaketes rechtlich zu verankern. Dieses Gesetzespaket enthielt nicht nur das Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz (EAG) selbst, sondern umfasste auch Änderungen des Elektrizitätswirtschafts- und Organisationsgesetzes (EIWOG). So finden sich Richtlinien für Erneuerbare-Energiegemeinschaften im EAG (§79, §80) und EIWOG (§16c), während Richtlinien für Bürgerenergiegemeinschaften ausschließlich im EIWOG (§16b) zu finden sind. Gemeinsame Bestimmungen für beide Arten der Energiegemeinschaften finden sich ebenfalls im EIWOG (§16d-e).

Die wesentlichsten Charakteristika, Unterschiede und Gemeinsamkeiten von Erneuerbaren-Energiegemeinschaften und Bürgerenergiegemeinschaften werden in Abbildung 2 grafisch veranschaulicht.

Abbildung 2: Charakteristika von Erneuerbaren Energiegemeinschaften & Bürgerenergiegemeinschaften



Bereits im Februar 2024 konnten in Österreich weit mehr als 1000 aktive Energiegemeinschaften verzeichnet werden. Der Löwenanteil davon sind Erneuerbare-Energiegemeinschaften, was auf mehrere Gründe zurückzuführen ist. Einerseits haben Erneuerbare-Energiegemeinschaften zusätzliche finanzielle Vorteile wie reduzierte Netzentgelte, Entfall der E-Abgabe und des Erneuerbaren-Förderbeitrags. Andererseits konnten (trotz vorhandener Legislatur) Bürgerenergiegemeinschaften erst mit April 2022 umgesetzt werden, während Erneuerbare-Energiegemeinschaften bereits kurze Zeit nach Gesetzesbeschluss Mitte 2021 umgesetzt werden konnten.

### 2.2.3 Fokus auf gemeinschaftliche Erzeugungsanlagen nach EIWOG §16a

Im Kontext dieses Forschungsprojektes hat sich die geografisch kleinste Form der Energiegemeinschaft, nämlich die „gemeinschaftliche Erzeugungsanlage“ als besonders relevant herausgestellt, weshalb die wesentlichsten Eckpunkte in der Folge zusammengefasst werden sollen:

- Netzzugangsberechtigte haben einen Rechtsanspruch gegenüber Netzbetreibern gemeinschaftliche Erzeugungsanlagen zu betreiben. Die freie Lieferantenwahl (für die Lieferung von Reststrommengen oder Verkauf des Überschusses) bleibt bestehen.
- Der Anschluss von gemeinschaftlichen Erzeugungsanlagen zur privaten oder gewerblichen Nutzung ist nur an gemeinschaftliche Leitungsanlagen, über die auch die teilnehmenden Berechtigten angeschlossen sind (Hauptleitungen) im Nahebereich der Anlagen der teilnehmenden Berechtigten erlaubt. Die Nutzung des öffentlichen Netzes ist untersagt.
- Es kann ein Betreibender der gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage bestimmt werden, der die Gemeinschaft nach außen vertritt.
- Falls die gemeinschaftliche Erzeugungsanlage nicht von den teilnehmenden Berechtigten selbst, sondern von einem Dritten betrieben wird, muss ein Errichtungs- und

Betriebsvertrag abgeschlossen werden, der diverse Regelungen (z.B. Haftung, Wartung, Datenverwaltung, Versicherungen, u.v.m.) enthält.

- Netzbetreiber sind für die Messung von Last und Erzeugung verantwortlich. Bei Verwendung von intelligenten Messgeräten müssen die Energiewerte pro Viertelstunde gemessen und ausgelesen werden.
- Die Netzbetreiber sind dazu verpflichtet, die Erzeugungsmengen der gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage den teilnehmenden Berechtigten (Verbrauchern) entsprechend eines vereinbarten statischen oder dynamischen Aufteilungsschlüssels zuzuordnen.

## 2.3 Dynamische und statische Aufteilungsschlüssel in der gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage

Energiegemeinschaften und gemeinschaftliche Erzeugungsanlagen können beim Netzbetreiber hinsichtlich Energieallokation zwischen einem dynamischen und einem statischen Aufteilungsschlüssel wählen.

Beim **statischen Aufteilungsschlüssel** steht jede:r Teilnehmer:in ein vorab fixierter (und somit zu jedem Zeitpunkt identer) Prozentsatz der aktuellen Erzeugungsmenge zu. Wird dieser Anteil nicht genutzt (z.B. urlaubsbedingt), können andere Teilnehmer:innen nicht davon profitieren und die nicht genutzte Menge gilt als Überschuss und wird z.B. an den Überschuss-abnehmenden Energieversorger verkauft.

Beim **dynamischen Aufteilungsschlüssel** wird, sofern der Gesamtverbrauch der Energiegemeinschaft eines Zeitschritts (15 min) größer gleich der Gesamterzeugung desselben Zeitschritts ist, stets die gesamte Erzeugungsmenge auf alle Teilnehmer:innen aufgeteilt abhängig vom jeweiligen Momentanverbrauch. Dadurch wird die innerhalb der Energiegemeinschaft erzeugte Energie zu jedem Zeitpunkt möglichst effizient genutzt. In anderen Worten beschrieben bedeutet der dynamische Aufteilungsschlüssel, dass die zugeordneten Energiemengen den Prozentanteil der Einzellasten der Teilnehmenden an der Gesamtlast der Energiegemeinschaft widerspiegeln („wer mehr Last hat, bekommt mehr von der vorhandenen Erzeugung“). Dadurch kann es allerdings dazu kommen, dass Verbraucher:innen mit hohem Momentanverbrauch (z.B. KMUs, Industriebetriebe) weit stärker von der Erzeugung profitieren als andere Teilnehmer:innen (z.B. Haushalte) mit geringerem Verbrauch.

Welcher der beiden Aufteilungsschlüssel der geeignetere ist, hängt stark von der Zusammensetzung der Teilnehmer:innen der Energiegemeinschaft und der Dimensionierung der Erzeugungsanlagen ab. In den meisten Fällen ist der dynamische Aufteilungsschlüssel der geeignetere, da eine möglichst effiziente Nutzung der vorhandenen Energiemengen gewährleistet werden kann. In Ausnahmefällen, wie beispielsweise einem Teilnehmer mit vergleichsweise großer Last (z.B. Industriebetrieb), kann der statische Zuteilungsschlüssel die bessere Wahl sein, da durch die vorab Definition von fixen Anteilen verhindert wird, dass der Großabnehmer so viel Energie bezieht, sodass für kleinere Teilnehmende (z.B. Haushalte) keine nennenswerten Energiemengen aus der Energiegemeinschaft bezogen werden können. Der Großteil der in Österreich betriebenen Energiegemeinschaften nutzt die Möglichkeit der dynamischen Energieallokation.

### **2.3.1 Schritt 1-8 Umsetzung einer Energiegemeinschaft**

Die Umsetzung einer Energiegemeinschaft kann in acht Schritte unterteilt werden.

#### **1. Finden potenzieller Mitglieder:**

Eine Energiegemeinschaft besteht aus mindestens zwei Mitgliedern, von denen mindestens eines der beiden über eine Erzeugungsanlage verfügt. Über die ideale Zusammensetzung einer Energiegemeinschaft kann keine allgemeingültige Aussage getroffen werden, da dies stark von den individuellen Verbrauchs- und Erzeugungsprofilen abhängt. Grundsätzlich gilt jedoch, dass Diversität in Erzeugungs- und Verbrauchsprofilen Synergieeffekte verstärkt und damit auch die (finanziellen) Vorteile einer Energiegemeinschaft.

#### **2. Gründen einer Rechtspersönlichkeit**

Jede Energiegemeinschaft verlangt eine Rechtspersönlichkeit. Grundsätzlich ist jede Rechtspersönlichkeit wählbar, solange sie in ihrem eigenen Namen Rechte ausüben und Pflichten unterliegen kann. Somit sind beispielsweise die GesbR mangels Rechtsfähigkeit ausgeschlossen, ebenso wie die Ein-Personen-GmbH (da mindestens zwei Teilnehmende nötig sind). Auch können bestehende Rechtspersönlichkeiten zur Energiegemeinschaftsgründung herangezogen werden. Besonders gerne gewählt werden Vereine (einfacher Gründungsprozess, kein Stammkapital etc.) und Genossenschaften. Besonders bei Vereinen muss jedoch darauf geachtet werden, dass sich aus anderer Hinsicht Nachteile ergeben können. Beispielsweise schließen Banken Kredite für Energiegemeinschaften, die auf einem Verein basieren, kategorisch aus, da das Risiko zu hoch ist.

#### **3. Entscheidung über die Art der Energiegemeinschaft**

In einem dritten Schritt muss über die Art der Energiegemeinschaft entschieden werden. In der Folge sollen die größten Entscheidungsgrundlagen für gemeinschaftliche Erzeugungsanlagen, Erneuerbare-Energiegemeinschaften und Bürgerenergiegemeinschaften aufgelistet werden.

Die Gründung einer gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage ist vorteilhaft, wenn alle Teilnehmenden über eine gemeinsame Hauptleitung verbunden sind und das öffentliche Netz somit nicht genutzt werden muss. Dies impliziert, dass keinerlei Netzentgelte für die innerhalb der Energiegemeinschaft geteilten Strommengen anfallen.

Die Gründung einer Erneuerbaren-Energiegemeinschaft ist vorteilhaft bzw. notwendig, wenn alle Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen der Teilnehmenden innerhalb eines Niederspannungs- oder Mittelspannungsabzweigs und innerhalb des Konzessionsgebiets desselben Netzbetreibers liegen. In diesem Fall werden den Mitgliedern zusätzliche finanzielle Vorteile, wie z.B. reduzierte Netzentgelte, Entfall der E-Abgabe und des Erneuerbaren-Förderbeitrags zuteil. Ebenfalls erlauben Erneuerbare-Energiegemeinschaften auch das Teilen von Wärme.

Die Gründung einer Bürgerenergiegemeinschaft bietet sich an, wenn die Teilnehmenden über weite Bereiche Österreichs verstreut sind und somit die geografischen Beschränkungen einer Erneuerbaren-Energiegemeinschaft nicht erfüllt sind. Weiters erlauben Bürgerenergiegemeinschaften auch das Teilen nicht erneuerbarer Energie (auch wenn dies natürlich nicht das Ziel

ist) und lassen weiters die Teilnahme von Großunternehmen und EVUs zu, jedoch ohne Kontrollfunktion.

#### **4. Prüfen, ob EEG-Gründung möglich**

Falls eine Erneuerbare-Energiegemeinschaft gegründet werden soll, muss in einem nächsten Schritt geprüft werden, ob die Kriterien der geografischen Nähe der Teilnehmenden Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen (über Netzebenen definiert) tatsächlich erfüllt sind. Hierfür muss eine Anfrage beim Netzbetreiber gestellt werden, der verpflichtet ist, binnen zwei Wochen darüber Auskunft zu geben. Falls sich herausstellt, dass die genannten Kriterien nicht erfüllt sind, müsste die Gemeinschaft darüber entscheiden, ob der/die Teilnehmenden, die für die Verletzung des geografischen Nähe-Kriteriums verantwortlich sind, ausgeschlossen werden, oder ob stattdessen eine Bürgerenergiegemeinschaft gegründet werden soll.

#### **5. Kooperation mit dem Netzbetreiber/den Netzbetreibern**

Nachdem die Verteilnetzbetreiber für viele Prozesse rund um Energiegemeinschaften verantwortlich sind (z.B. Messung, Energiezuordnung, Daten zur Verfügung stellen etc.) ist die Kooperation von Energiegemeinschaften und Netzbetreibern unerlässlich bzw. unumgänglich. Es ist nötig, die Gründung der Energiegemeinschaft beim Netzbetreiber zu melden und eine Reihe an Informationen bekanntzugeben. Darunter fällt bspw. Die teilnehmenden Erzeugungs- und Verbrauchszählpunkte, Auskunft über die Art der Erzeugungsanlagen, Eintritte/Austritte von Mitgliedern, Aufteilungsschlüssel (statisch oder dynamisch), etc.). Weiters ist es empfehlenswert, den Smart Meter Einbau durch den Netzbetreiber so rasch als möglich zu forcieren. Grundsätzlich ist ein Einbau innerhalb von 2 Monaten gesetzlich vorgeschrieben. Auch hier kann es jedoch zu Verzögerungen kommen, da jeder Smart Meter einer 1-monatigen Testphase unterzogen und somit die Kommunikationstauglichkeit festgestellt wird. Sollte ein Smart Meter als nicht kommunikationstauglich eingestuft werden, wird dieser erneut ausgetauscht und einer neuerlichen Testphase von einem Monat unterzogen.

#### **6. Registrierungen und Vertragswerk**

Folgende Registrierungsprozesse und Vertragsabschlüsse sind nötig:

- ebUtilities (<https://www.eutilities.at/marktpartner>) – Informations-Plattform der Österr. Energiewirtschaft. Auch eine Energiegemeinschaft klassifiziert als Marktteilnehmer, weshalb die Zuordnung einer Marktteilnehmer-Nummer erforderlich ist. Dies erfolgt über ebUtilities.
- EDA Anwenderportal – Elektronische Datenaustauschplattform (<https://www.eda.at/anwenderportal>). Über dieses Portal werden der Energiegemeinschaft die zur Abrechnung erforderlichen Energiedatenreihen zur Verfügung gestellt.

Vertragswerk mit dem Netzbetreiber:

- Jeder einzelne Energiegemeinschafts-Teilnehmende muss einen Zusatzvertrag zum Netzzugangsvertrag mit dem Netzbetreiber abschließen.

- Weiters muss die Energiegemeinschaft selbst einen Vertrag über den „Betrieb der EG“ mit dem Netzbetreiber abschließen.

## 7. Vereinbarungen innerhalb einer Energiegemeinschaft

Neben den Gründungsdokumenten der Rechtspersönlichkeit (z.B. beim Verein die Statuten) müssen die Teilnehmenden innerhalb der EG weitere Vereinbarungen treffen.

Diese Vereinbarungen müssen zumindest folgende Punkte enthalten:

- Datenverwaltung und Datenbearbeitung der Energiedaten der Erzeugungsanlagen und der Verbrauchsanlagen der teilnehmenden Netzbenutzer durch den Netzbetreiber
- Betrieb, Erhaltung und Wartung der Erzeugungsanlagen sowie die Kostenträgung
- Haftung
- Allfällige Versicherungen

## 8. Laufender Betrieb

Während des laufenden Betriebs der Energiegemeinschaft fallen insbesondere Tätigkeiten rund um die jeweilige Rechtspersönlichkeit an.

- Einheben der Mitgliedsbeiträge
- Abhalten von Versammlungen
- Informieren der Mitglieder über aktuelle Vorgänge/Pläne in der EG, z.B. Bau neuer Erzeugungsanlagen etc.
- „Verwaltung“ der Mitglieder:
  - a) Austritt bestehender Mitglieder
  - b) Beitritt neuer Mitglieder
  - c) Dabei ist stets ein „ausgewogener“ Mix von Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen zu beachten

Weiters fallen Tätigkeiten rund um die Verrechnung der innerhalb der Energiegemeinschaft verkauften und gekauften Energiemengen an.

- Grundsätzlich haben die Teilnehmenden der EG freie Hand bei der Wahl des Energiepreises innerhalb der EG, sofern eine Einigung zwischen allen Betroffenen erzielt werden kann.
- Die Preisfindung innerhalb einer Energiegemeinschaft sollte stets das Profitieren von Erzeuger:innen als auch Verbraucher:innen garantieren. Somit sollte für Erzeuger:innen gelten, dass der energiegemeinschafts-interne Energiepreis höher ist, als der Einspeisetarif (beim Überschussverkauf an einen Versorger). Für Verbraucher:innen sollte gelten, dass Energie aus der Energiegemeinschaft günstiger bezogen werden kann als vom konventionellen Energieversorger.
- Energie kann innerhalb einer Energiegemeinschaft jedoch auch verschenkt werden.

In der Praxis stellen sich bei gemeinschaftlichen Erzeugungsanlagen (GEA) mehrere zentrale Herausforderungen. Häufig ist unklar, wer als Betreiber auftritt und wer den Aufbau der Anlage übernimmt, da sich die unmittelbaren Nutznießer:innen – in der Regel die Bewohner:innen – vom Investor, meist dem Wohnbauträger, unterscheiden. Der Zugang zu den Bewohner:innen ist zudem oft erschwert und erfordert zusätzliche Überzeugungsarbeit. Für den Wohnbauträger bedeutet der Aufbau und Betrieb einer GEA in vielen Fällen einen erheblichen Mehraufwand, dem jedoch nur begrenzte Vorteile gegenüberstehen. Ein weiterer Aspekt betrifft die rechtliche und wirtschaftliche Rolle der Wohnbauträger: Während gemeinnützige Wohnbauträger grundsätzlich keine Einnahmen aus dem Betrieb einer GEA erzielen dürfen – die Erlöse würden in diesem Fall in der Gemeinschaft verbleiben –, können nicht-gemeinnützige Wohnbauträger diese Einnahmen als Vergütung für Bau und Betrieb der Anlage verbuchen. Viele Wohnbauträger sind auch hier nicht bereit, sich dem damit verbundenen organisatorischen Mehraufwand zu stellen, da dieser ihnen bei gleichzeitig begrenztem Nutzen oft nicht als wirtschaftlich sinnvoll erscheint.

### **2.3.2 Regulatorische Anforderungen zur Abrechnung von Regelreserve und ihre Umsetzung**

Das folgende Kapitel bezieht sich auf die regulatorischen Aspekte der Nutzung von Regelenergie (siehe Use Case unter 3.1.2). Die Präqualifikation kleiner Komponenten ist grundsätzlich unproblematisch, sofern die technischen Rahmenbedingungen und die Steuerbarkeit, die Anforderungen an Datenaustausch- und Speicherung sowie das Baselinekonzept erfüllt sind. Die detaillierten Anforderungen und Rahmenbedingungen für die Präqualifikation sind auf der Website der Austrian Power Grid (APG) einsehbar. Das Baselinekonzept dient dem Nachweis des Regelenergieabrufes und soll darstellen, was die Komponente oder der Komponentenpool ohne Regelenergie Abruf gemacht hätte. Es sind dabei unterschiedliche Baseline-Konzepte denkbar, die grundsätzlich flexibel gestaltet und in Abstimmung mit der APG individuell ausgearbeitet werden können. So erfolgte beispielsweise eine Präqualifikation im Rahmen des Projektes Flex+ für Wärmepumpen (auch wenn es dort in weiterer Folge nie zu keinem Abruf kam) sowie für den Boilerpool durch World Direct. Bei Boilern kann beispielsweise der Fahrplan für die betreffenden Zeitfenster als Baseline herangezogen werden. Im Rahmen der Regelreservebereitstellung bedeutet dies, dass die Boiler während dieses Zeitraums abgeschaltet bleiben. Dieser Fahrplan lässt sich in der Praxis mit hoher Genauigkeit einhalten.

Die größeren Herausforderungen liegen derzeit noch hauptsächlich auf die Abrechnung mit den Netzbetreibern. Obwohl die smartBoiler technisch vollständig einsatzbereit sind, ist eine Abrechnung der Regelenergienutzung auf Endkund:innenebene derzeit (Stand Mai 2025) noch nicht umsetzbar. Grund dafür ist das Fehlen standardisierter Marktprozesse und klarer gesetzlicher Vorgaben, die es Netzbetreibern, Energielieferanten und Bilanzgruppenverantwortlichen ermöglichen würden, die durch Regelenergie entstandenen Stromkosten und Netzentgelte verursachungsgerecht gegenzurechnen. Diese Prozesse sind auf bilateraler Ebene für Anlagen mit größerer Leistung durchaus bereits seit Jahren in Betrieb und zwischen APG, Verteilnetzbetreiber, Energielieferanten und BGV im Rahmen des von APG definierten Datenkarussells erprobt. Jedoch eignen sich die dort aufgebauten Prozesse, Schnittstellen und technische Kommunikationsprotokolle nicht für eine sehr

großen Anzahl von sehr kleinen technischen Einheiten. Das neue EIWG<sup>8</sup>, das die Rolle von Aggregatoren regelt und die Abrechenbarkeit flexibler Verbrauchsanlagen rechtlich absichert, wurde mehrfach verschoben. Energieversorger und Netzbetreiber zeigten sich in der Vergangenheit entsprechend zurückhaltend, da eine manuelle Einzelabrechnung nicht skalierbar und rechtlich nicht eindeutig möglich war. Damit entsteht die Situation, dass kleinteilige Anlagen zwar bei APG präqualifizierbar sind aber die erbrachte Regelenergie nicht mit der jeweiligen Bilanzgruppe und dem Lieferanten bzw. das vergünstigte Netznutzungsentgelt vom Netzbetreiber gegengerechnet werden können.

In Hinblick auf das nahende EIWG, dem Rollout von smartBoilern im Rahmen von HoWaFlex und mehrere Anfragen seitens WD beim Verteilnetzbetreiber, wurde am 07. April 2025 die öffentliche Konsultation zu den Wechselprozessen für Flexibilitätsanbieter (FSP) im Regelreservemarkt unter dem Titel „Teilnahme Regelreservemarkt – Umsetzung der FSP-Wechselprozesse“ gestartet. Stellungnahmen konnten bis zum 30. April 2025 eingereicht werden, die Details sind unter [www.ebutilities.at/konsultationen/84](http://www.ebutilities.at/konsultationen/84) veröffentlicht. Der offizielle Start der neuen, standardisierten Prozesse erfolgt am 06. Oktober 2025. Ab diesem Zeitpunkt wird erstmals eine automatisierte Abrechnung auf Endkund:innenebene ermöglicht – eine manuelle Abrechnung ist bis dahin nicht vorgesehen.

Der PV-Use Case (siehe 3.1.1) im Rahmen von gemeinschaftlichen Erzeugungsanlagen ist davon **nicht betroffen** und kann bereits genutzt werden.

Die Kombination von Regelenergie und gemeinschaftlicher Erzeugung bzw. Energiegemeinschaften ist derzeit aus Sicht der Netzbetreiber noch nicht umsetzbar. Zunächst müssen klare Konzepte und Abgrenzungen erarbeitet werden, um festzulegen, welche Energiemengen der Regelenergie und welche der Erzeugungsanlage zuzurechnen sind. Erst auf dieser Grundlage ist es denkbar, dass beide Positionen getrennt und transparent auf der Stromrechnung ausgewiesen werden können.

Ein weiterer relevanter Aspekt betrifft die Trennung zwischen technischem und kommerziellem Aggregator. Insbesondere im Zusammenhang mit einem freien Wechsel des Aggregators, welcher im Entwurf des neuen österreichischen Elektrizitätswirtschaftsgesetz vorgesehen ist, stellt sich die Frage der fairen Abrechnung der Kommunikationsinfrastruktur, für den Fall dass der:die Endkund:in den Aggregator wechseln möchte. Die notwendige Kommunikationsstrecke bzw. die etwaige Nutzung der Infrastruktur des technischen Aggregators, muss in diesem Fall dem jeweils anderen Aggregator korrekt zugeordnet und entsprechend verrechnet werden.

### 3 USE CASES UND LADESTRATEGIEN

Dieses Kapitel beschreibt die verschiedenen Use Cases sowie die dafür entwickelten Ladestrategien. Mögliche Hauptziele sind die Optimierung des Eigenverbrauchs und die Bereitstellung von

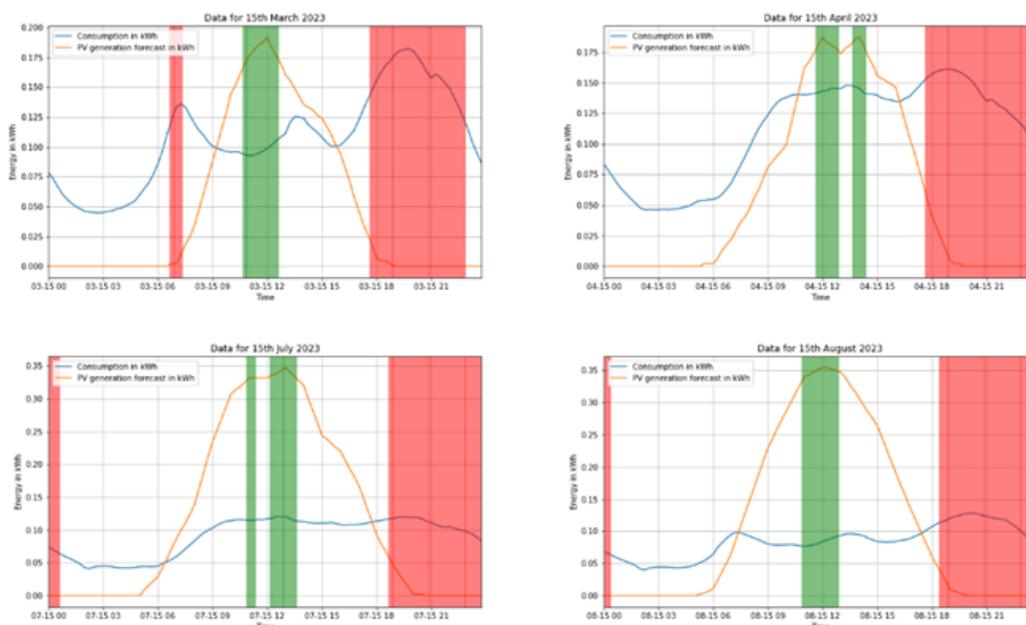
---

<sup>8</sup> <https://www.parlament.gv.at/dokument/XXVIII/ME/32>

Regelreserve. Weitere Nebenziele können die Steigerung des Nutzer:innenkomforts, die Reduktion von Netzbezugsspitzen sowie die Verringerung von CO<sub>2</sub>-Emissionen sein. Abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall und der verfügbaren Datenbasis können gezielt Ladefenster – beispielsweise für das Nachladen – sowie Sperrzeiten definiert werden, in denen das Laden untersagt ist, etwa zur Bereitstellung von Regelreserve oder zur Vermeidung von Leistungsspitzen. Die einzelnen Elemente der Ladestrategien – wie Lade- und Nichtladefenster, Fairnessansätze oder Komfortkriterien – sind modular aufgebaut und können flexibel miteinander kombiniert werden. Im Verlauf des Projekts sollen verschiedene Kombinationen sowohl in der Demonstrationsumgebung als auch im digitalen Zwilling implementiert und getestet werden. Die letztlich ausgewählten und umgesetzten Varianten werden im Deliverable 4.1 dokumentiert und ausgewertet.

Zur Umsetzung der unterschiedlichen Ziele können spezifische Zeitfenster definiert werden, in denen die Warmwasserhängespeicher abhängig vom aktuellen Ladezustand betrieben werden dürfen, sowie solche, in denen ein Laden grundsätzlich ausgeschlossen ist. Zusätzlich lassen sich Zeiträume festlegen, in denen die Warmwasserhängespeicher standardmäßig ausgeschaltet sind, jedoch im Bedarfsfall für einen Regelreserveabruf zur Verfügung stehen. Bei negativen Regelreserveangeboten ist es außerdem entscheidend, ausreichend freie Speicherkapazität bereitzuhalten, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Die Dauer der Ladefenster ergibt sich aus dem jeweiligen Tagesverbrauch und kann aus Effizienzgründen – etwa zur Minimierung von Speicherverlusten oder zur Optimierung der Verfügbarkeit – in mehrere Intervalle aufgeteilt werden. Darüber hinaus kann es erforderlich sein, eine Mindesttemperatur im Speicher sicherzustellen, was bei der Planung der Ladefenster ebenfalls zu berücksichtigen ist.

Abbildung 3: Überblick über beispielhafte Lade- & Ladeverbotsfenster



## 3.1 Use Cases und ihre Ladestrategien sowie Nebenziele

### 3.1.1 Use Case 1: PV-Eigenverbrauchsoptimierung

Der Verbrauch der PV-Erzeugung der gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage soll maximiert werden, indem die Warmwasserhängespeicher zu Zeiten des PV-Überschusses geladen werden. Es können bei verschiedenen Gebäudekonfigurationen unterschiedliche Messwerte zur Verfügung stehen. Dabei ist es am wahrscheinlichsten, dass Live-Erzeugungsdaten zur Verfügung stehen, nach denen die Warmwasserhängespeicher betrieben werden. Die Zuschaltung und Abschaltung der Warmwasserhängespeicher erfolgt in Abhängigkeit von der momentanen PV-Erzeugung. Alternativ dazu kann auch die aktuelle Netzbezugs- oder Einspeiseleistung zur Steuerung gemessen werden. In diesem Fall wird bei Einspeisung die Speicher nach der Höhe der Einspeiseleistung verwendet. Die Einspeiseleistung ist das Delta zwischen der gesamten Hauslast (exklusive Boiler) und der aktuellen PV-Produktion. Details zur Auswahl der jeweiligen Warmwasserhängespeicher sowie zur Steuerungslogik und Schaltheufigkeit sind in Kapitel 3.2 dargestellt. Falls keine Live-Messdaten zur Verfügung stehen, soll es einmal am Tag einen Forecast geben, auf Basis dessen die Ladestrategie operiert. Die Haushaltslasten bleiben unberücksichtigt, da hierzu weder historische Daten noch Echtzeitinformationen vorliegen.

#### **Mögliche Forschungsfragen:**

- Nach welchen Kriterien und in welcher Reihenfolge erfolgt die Zuschaltung der Warmwasserhängespeicher im Betrieb?
- Welche Schwellwerte werden definiert, um das Zu- bzw. Abschalten der Warmwasserhängespeicher zu steuern?
- In welchem Maße beeinflusst das gezielte Laden der Warmwasserhängespeicher die Anwendung und Ergebnisse der Aufteilungsschlüssel innerhalb der Energiegemeinschaft?
- Wie kann der zeitliche Aspekt des Energieverbrauchs in der Steuerungsstrategie sinnvoll berücksichtigt werden?
- Welche Datenbasis ist erforderlich, um geeignete Nachladefenster festzulegen?
- Welche Vorteile ergeben sich durch den Einsatz modulierender Warmwasserhängespeicher im Vergleich zu klassischen On-Off-Warmwasserhängespeichern

### 3.1.2 Use Case 2: Regelreserve

Die Warmwasserhängespeicher können sowohl für positive als auch für negative Regelenergie genutzt werden. Im Projekt soll der Fokus auf der Bereitstellung negativer Regelenergie liegen. Im einfachsten Fall sind in der Nacht, wenn keine PV-Erzeugung vorhanden ist, alle Warmwasserhängespeicher ausgeschaltet und können für Regelreserve genutzt werden. Die Anzahl der Produkte, die angeboten werden können, wird je nach verwendeter Strategie variieren. In der Realität existiert ein ausreichend großes Backup, das einspringen kann, wenn die Warmwasserhängespeicher gerade keine Regelleistung zur Verfügung stellen können.

Als weitere Maßnahme können die Regelenergiepreise, welche stark mit der Wahrscheinlichkeit eines Abrufs zusammenhängen, bis zu 25 Minuten vorher angepasst werden. Im Projekt sollen dennoch Methoden untersucht werden, mit denen mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit die gesamte gebotene Regelleistung durch die Warmwasserhängespeicher bereitgestellt werden kann. Einfache Beispiele zur Auswahl der Regelreservenfenster sind beispielsweise:

1. **20-4 Methode:** Bei dieser Ladestrategie werden die Warmwasserhängespeicher 20h ausgeschaltet gelassen und können in einem Fenster von 4h nachladen.
  - a. Damit nicht alle Warmwasserhängespeicher zu Beginn des Nachladefensters sich gleichzeitig einschalten, sollte innerhalb des Nachladefensters noch eine Logik angewendet werden, bei der die leereren Warmwasserhängespeicher früher starten und die volleren Warmwasserhängespeicher etwas später (ansonsten entsteht eine hohe Gleichzeitigkeit im Netz durch Nachladen). Am Ende müssen alle vollgeladen sein. Weiters könnte man verschiedene Nachladefenster festlegen und diese (auch geographisch über mehrere Wohnanlagen) auf die Warmwasserhängespeicher verteilen.
2. **16-8 Methode, 12-12 etc.:** Analog zu 20-4 Methode, nur mit zwei oder mehr Nachladefenstern, in welchen man vielleicht gar nicht ganz vollladen muss.

#### **Mögliche Forschungsfragen:**

- Wie viel Regelenergie kann realistisch über den Tag angeboten werden, sodass mit hoher Wahrscheinlichkeit der Großteil des Angebots auch tatsächlich erfüllt werden kann?
- In welchem Verhältnis stehen Anzahl und zeitliche Verteilung der Ladefenster zur Höhe des möglichen Angebots an Regelenergie?
- Welcher Mehrwert ergibt sich, wenn historische Verbrauchsdaten bei der Festlegung der Ladefenster berücksichtigt werden?
- Welche Vorteile entstehen durch die Aufteilung der Ladefenster in mehrere Intervalle – etwa im Hinblick auf Effizienz, Verlusten oder Nutzer:innenkomfort?
- Welche Maßnahmen können ergriffen werden, um die Gleichzeitigkeit des Nachladens innerhalb definierter Zeitfenster zu reduzieren?
- Wie können Nachladefenster differenziert anhand historischer Verbrauchsmuster festgelegt werden – etwa durch die Einführung von Kategorien wie Abend- oder Morgenfenster? Inwieweit kann bzw. sollte auch die Länge dieser Fenster individuell auf einzelne Kund:innen angepasst werden?

#### **3.1.3 Use Case 3: Kombination aus PV und Regelreserve**

Die Kombination von PV-Eigenverbrauch im Rahmen der gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage mit der Bereitstellung von Regelreserve stellt aus technischer Sicht grundsätzlich kein Problem dar und kann steuerungstechnisch problemlos umgesetzt werden. Eine einfache Aufteilung wäre beispielsweise Regelreserve nur in der Nacht, wenn garantiert keine PV-Erzeugung stattfindet, oder eine

saisonale Aufteilung auf Sommer und Winter. Es könnte auch ein Teil der Boiler für Regelreserve, der Rest für PV verwendet werden, abhängig von der Dimensionierung der PV-Anlage. Allerdings bestehen aktuell noch abrechnungstechnische Herausforderungen. Netzbetreiber weisen darauf hin, dass insbesondere die Abgrenzung zwischen den innerhalb einer Energiegemeinschaft erzeugten und genutzten sowie den im Rahmen der Regelreserve abgerufenen Energiemengen noch nicht eindeutig geklärt ist. Damit verbunden ist auch die Frage, wie unterschiedliche Netzentgelte korrekt verrechnet werden können. Darüber hinaus bleibt zu prüfen, ob ein solcher kombinierter Einsatz aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll ist – eine Fragestellung, die im Rahmen der Forschungsarbeiten vertieft untersucht werden soll.

### 3.1.4 Use Case 4: Lastverschiebeprodukt

Gemeinsam mit Energie Steiermark hat World Direct ein Lastverschiebeprodukt entwickelt.

Energie Steiermark hat für die Boilersteuerung die Fahrplanschnittstelle von World-Direct für die Ansteuerung einer Boilergruppe von zehn Boilern verwendet – Dabei wurde von Energie Steiermark am Vortag (D-1) die günstigsten Stunden am Spotmarkt identifiziert und ein XML-Fahrplan erstellt über dem der Boilergruppe ein Schaltsignal vorgegeben wurde. Die Endverbraucher:innen mussten dabei keine Informationen bekannt geben, sondern es wurden untertags und nachts jeweils genug große Zeitfenster für die Ladung eingeplant, damit die Warmwasserspeicher immer genügend Wärme vorhalten konnten. Am jeweiligen Tag D selbst wurden dann die Warmwasserspeicher in den jeweiligen günstigsten Stunden für die Energieaufnahme zugelassen bzw. in den teuersten Stunden explizit gesperrt. Durch dieses System konnten Kund:innen von günstigeren Einkauf am Spotmarkt profitieren und Energie Steiermark den Einkauf der Energie für die Boiler optimierter planen und zielgerichteter beschaffen. Die Speicher waren dabei in der Steiermark verteilt. Alle Testkund:innen waren Kund:innen der Energie Steiermark. Durch das kleine Sample wurden die Kund:innen pauschal vergütet, da zum Zeitpunkt des Tests weder die aktuellen Stromtarife angepasst wurden noch die Energiemengen am Markt separat handelbar gewesen wären.

### 3.1.5 Nebenziel 1: Komfort

Im Projekt sollen auch Komfortgrenzen berücksichtigt werden. Derzeit ist es bei vielen Gebäuden üblich, dass die Warmwasserhängespeicher nur einmal pro Nacht, oder gegebenenfalls ein zweites Mal untertags, aufgeladen werden. Daher soll dies als Komfortbaseline dienen, welche auf keinen Fall unterschritten werden soll. Der Komfort soll dann in mehreren Stufen verbessert werden, in Form eines KPIs abgebildet werden und zumindest im digitalen Zwilling in verschiedenen Varianten getestet werden. Dies wird bei der Definition der Ladefenster in den Ladestrategien abgebildet.

Tabelle 1: Überblick über Komfortstufen

|         | Wann               | Wie lange             |              |
|---------|--------------------|-----------------------|--------------|
| Economy | 1x pro 24h (Nacht) | Bis Speicher voll ist | Baseline Min |

|          |  |   |              |
|----------|--|---|--------------|
| Economy+ | 2x pro 24h (Nacht, Nachmittag)   | Bis Speicher voll ist                     | Baseline     |
| Komfort  | X h vor historischen rollierenden Durchschnittsverbrauchsmaxima  | Bis zum Ende des definierten Ladefensters |              |
| Komfort+ | Wenn Temperatur kleiner als (Maximaltemperatur – x) ist wird Warmwasserhängespeicher wieder auf Maximaltemperatur aufgeladen | Bis Speicher voll ist                     | Baseline Max |

Diese Komfortgrenzen und -strategien können ergänzend zu den markt- und netzbezogenen Lade-strategien (Kapitel 3.1.1 bis 3.1.4) angewendet werden und wirken unterstützend im Gesamtkonzept der Ladeoptimierung.

### 3.1.6 Nebenziel 2: Lastspitzenreduktion

Auf Basis standardisierter Lastprofile (H0-Profile) sowie durchschnittlicher PV-Erzeugungsprofilen könnte ermittelt werden zu welchen Tageszeiten die Differenz zwischen dem Stromverbrauch und der PV-Erzeugung typischerweise am höchsten ist. Diese Zeitfenster bieten ein hohes Potenzial zur Lastspitzenreduktion durch gezielten Einsatz der Warmwasserspeicher. Eine sinnvolle Strategie könnte darin bestehen, markt- und netzbezogene Ladestrategien gezielt mit Maßnahmen zur Glättung von Lastspitzen zu kombinieren.

Die Integration dieses Nebenziels in bestehende Ladestrategien erscheint technisch gut umsetzbar. Allerdings stellt sich die Frage, auf welcher rechtlichen Grundlage dies erfolgen kann. Ein reiner Leistungstarif auf Haushaltsebene würde voraussichtlich nicht ausreichen, um eine Reduktion der Bezugsspitzen auf Gebäudeebene wirksam zu incentivieren, da die Warmwasserhängespeicher nur binär (Ein/Aus) gesteuert werden können. Eine gezielte Lastspitzenvermeidung wäre somit nur dann sinnvoll möglich, wenn die aktuelle Haushaltslast bekannt wäre und wenn es gleichzeitig einen begrenzten Netzanschluss auf Gebäudeebene oder einen Leistungstarif auf Gebäudeebene gäbe – was derzeit meist nicht der Fall ist.

Im Fall von individuellen Vereinbarungen mit dem Netzbetreiber könnten steuerbare Verbraucher wie Warmwasserhängespeicher gezielt zur Einhaltung der Leistungsgrenze eingesetzt werden.

### 3.1.7 Nebenziel 3: CO<sub>2</sub>-Reduktion

Es wird davon ausgegangen, dass durch die direkte Nutzung von vor Ort erzeugter, erneuerbarer Energie aus Photovoltaik der Bedarf an Strom aus fossilen Quellen verringert werden kann. Dies trägt zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Stromverbrauch eines Gebäudes bei. Auch wenn in diesen Zeitfenstern Strom aus dem Netz bezogen wird, ist der Energiemix aufgrund der gleichzeitig hohen PV-Erzeugung im Gesamtsystem in der Regel mit einem geringeren CO<sub>2</sub>-Ausstoß verbunden.

Zudem wird angenommen, dass Warmwasserhängespeicher im Rahmen der Regelreserve als flexible Lasten eingesetzt werden können und damit konventionelle Kraftwerke teilweise ersetzen. Auf

diese Weise leisten sie einen Beitrag zur Netzstabilität und unterstützen den Übergang zu einem nachhaltigeren, klimafreundlicheren Energiesystem.

Eine Optimierung auf Grundlage des stündlich variierenden CO<sub>2</sub>-Ausstoßes des Strommixes – basierend auf der aktuellen Zusammensetzung des Kraftwerksparks – ist derzeit nicht vorgesehen.

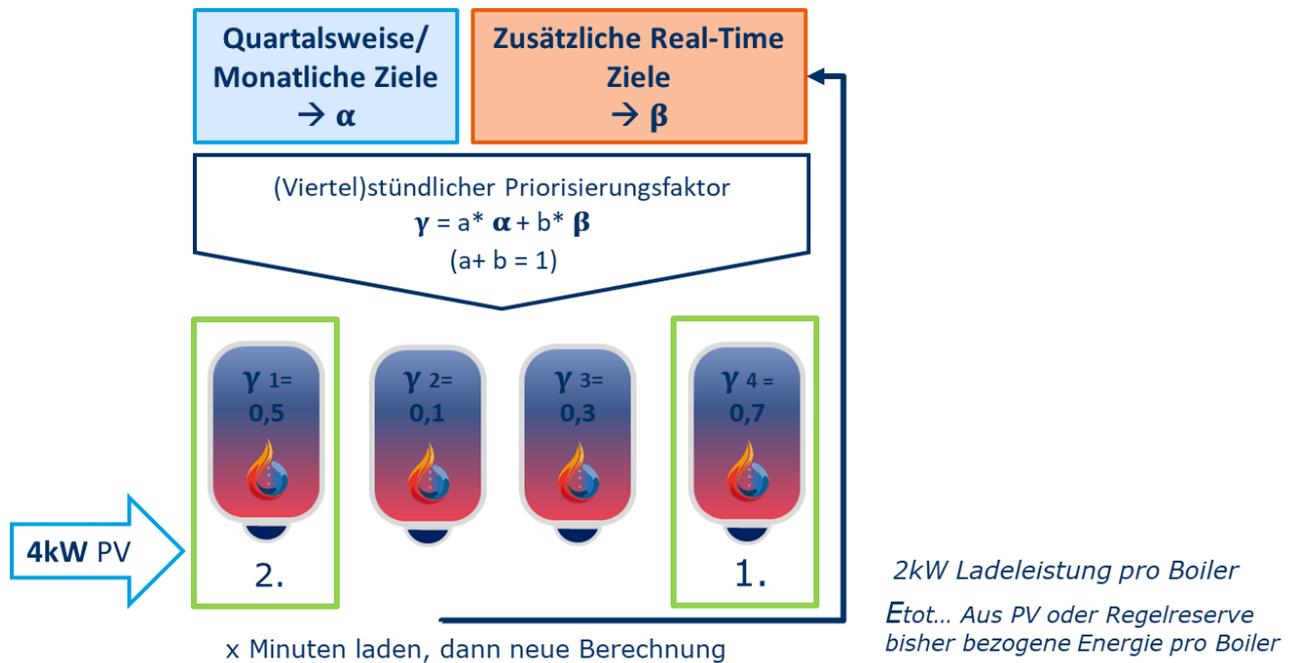
### 3.2 Mögliche Fairnessprinzipien bei On-Off Warmwasserhängespeichern zur Verteilung der RE-Abrufe sowie PV-Überschuss

Um sicherzustellen, dass alle Warmwasserhängespeicher gleichmäßig von der PV-Erzeugung profitieren, wurden verschiedene Fairnessprinzipien untersucht und in entsprechende Ladestrategien überführt, welche nachfolgend beschrieben werden. Da die Warmwasserhängespeicher nicht modulierend betrieben werden können, stehen lediglich die Betriebszustände „Ein“ und „Aus“ zur Verfügung. Nach dem Einschalten vergeht eine Aufwärmphase von rund zehn Minuten, bis der volle Wirkungsgrad erreicht wird. Daher ist beispielsweise 1-minütiges Durchwechseln der On-Off-Warmwasserhängespeicher von Nachteil für die Energieeffizienz. Um häufige Schaltzyklen zu vermeiden und trotzdem die in weiterer Folge beschriebenen Fairnessprinzipien umsetzen zu können, wird ein Zähler eingeführt, bei dem die von jeder Teilnehmer:in aus der Photovoltaikanlage (PV) oder über Regelenergie bezogenen Energiemengen zur Warmwasserbereitung eines zu definierenden Zeitraumes (1-3 Monate) erfasst wird. Diese Energiemenge für jeden Warmwasserhängespeicher  $x$  wird nachfolgend als  $E_{tot}^x$  genannt.

Basierend auf den bereits geladenen Energiemengen, dem aktuellen Ladestand, der Nennleistung der jeweiligen Warmwasserhängespeicher, dem Warmwasserverbrauch und der Gesamthaushaltslast werden Faktoren berechnet, die die Priorität der Warmwasserhängespeicher für die Beladung alle 15s neu bestimmen. Intervalle von bis zu 15 Minuten zur Neuberechnung des Priorisierungsfaktors hätten ebenfalls mögliche Optionen dargestellt; aufgrund der schwankenden Verfügbarkeit der Erzeugung wurde im Projekt jedoch ein kürzeres Intervall von 15 Sekunden gewählt. Die Berechnung dieser Faktoren wird für die verschiedenen Fairnessprinzipien in den Kapiteln 3.2.1 bis 3.2.3 beschrieben. Die Warmwasserhängespeicher mit der höchsten Priorität werden zuerst geladen. Das Ziel ist es, am Ende jedes vordefinierten Zeitraumes (z.B. Quartal oder Monat) die Ladeziele zu erreichen.

Jede Ladestrategie sollte zusätzlich aus energetischen Gründen berücksichtigen, dass Warmwasserhängespeicher mit niedrigeren Ladeständen bevorzugt werden. Neben der angestrebten Fairness stellt dies den zweiten Aspekt bei der Auswahl der Warmwasserhängespeicher dar. Dies kann dazu führen, dass manche Warmwasserhängespeicher, die bei PV-Überschuss immer voll sind, am Monats- oder Quartalsende weniger Energie erhalten als die Warmwasserhängespeicher, die zu diesen Zeitpunkten immer leer sind. Beide Faktoren (Fairness und energetische Effizienz) können beliebig gewichtet werden.

Abbildung 4: Allgemeines Schema zur Priorisierung der Warmwasserhängespeicher beim Laden



Im Rahmen der Diskussion der beschriebenen Ladestrategien im Konsortium wurden mehrere praxisrelevante Fälle identifiziert, die bei der Umsetzung berücksichtigt werden sollten:

- Kund:in aktiviert Warmwasserspeicher manuell und overrukt somit die Steuerungslogik:**

Was passiert, wenn ein Warmwasserhängespeicher manuell eingeschaltet wird, obwohl er nach der definierten Fairnesslogik in diesem Moment nicht zur Zuschaltung vorgesehen wäre – etwa während eines PV-Überschusses? Im Kontext der Regelreservevorhaltung könnte eine zusätzliche Bepreisung in Betracht gezogen werden, wenn ein Warmwasserhängespeicher manuell eingeschaltet wird. Dadurch ließe sich ein wirtschaftlicher Anreiz schaffen, die automatisierte Steuerungslogik einzuhalten. Allerdings stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage nach einer belastbaren rechtlichen Grundlage für eine solche Maßnahme. Zudem wäre eine zusätzliche Bepreisung manueller Eingriffe aus Kund:innen-sicht voraussichtlich wenig attraktiv und könnte die Akzeptanz des Systems negativ beeinflussen. Aus diesen Gründen wird eine solche Lösung zum aktuellen Zeitpunkt nicht weiterverfolgt.
- Ein neuer Warmwasserhängespeicher tritt ein oder aus:**

Wenn ein neuer Warmwasserhängespeicher in das System aufgenommen oder aus dem System entfernt wird, könnten folgende Anpassungen erforderlich sein:

  - Mittelwertberechnung:** Der Zähler des neuen Warmwasserhängespeichers könnte auf Basis des gemittelten Verbrauchs der anderen Warmwasserhängespeicher gesetzt werden, um ähnliche Startvoraussetzungen zu schaffen. Diese Variante wird auch für die Implementierung gewählt.

- **Zählerreset:** Der Zähler des neuen Warmwasserhängespeichers wird auf null gesetzt. Je nach Häufigkeit der Wechsel könnte dies zu hohen Ungenauigkeiten führen.

Nachfolgend werden verschiedene mögliche Ladeziele beschrieben, wobei in diesem Kapitel der Schwerpunkt auf der Fairness der Energieverteilung liegt, die Berücksichtigung der aktuellen Ladestände findet bei allen Ladestrategien auf die gleiche Art und Weise statt. Die nachfolgenden Ladeziele beschreiben die unterschiedlichen Strategien, um eine faire und effiziente Energieverteilung zu gewährleisten.

### 3.2.1 Gleichmäßig bezogen auf Anzahl der Warmwasserhängespeicher

Ziel dieser Ladestrategie ist es, sicherzustellen, dass jeder Warmwasserhängespeicher – unabhängig von seiner Größe oder dem individuellen Warmwasserverbrauch – am Ende des Quartals eine vergleichbare Energiemenge aus Photovoltaik oder Regelreserve erhalten hat.  $E_{tot}^x$  ist dabei die Energiemenge, welche bereits aus Photovoltaik oder Regelreserve bezogen wurde. Die Gewichtungsfaktoren berechnen sich dabei folgendermaßen:

$$\alpha_x = 1 - \frac{E_{tot}^x - \min_n E_{tot}^i}{\sum_{i=1}^n E_{tot}^i - \min_n E_{tot}^x * n}$$

$$\beta_x = 1 - \frac{SoC_x}{SoC_{MAX}^x}$$

$SoC_x$  ... Momentaner Ladestand von Boiler  $x$

$SoC_{MAX}^x$  ... Maximal möglicher Ladestand von Boiler  $x$

Insgesamt ergeben sich damit folgende Priorisierungsfaktoren der Warmwasserhängespeicher:

$$\gamma_x = a * \alpha_x + b * \beta_x + \psi$$

mit

$$a + b = 1$$

$$\psi = \begin{cases} 1, & \text{wenn Boiler } x \text{ im vorherigen Zeitintervall eingeschaltet war.} \\ 0, & \text{wenn Boiler } x \text{ im vorherigen Zeitintervall ausgeschaltet war.} \end{cases}$$

Der Faktor  $\psi$  dient als binärer Indikator für den Betriebszustand des Warmwasserhängespeichers im vorherigen Zeitintervall. Mit dieser Ergänzung wird sichergestellt, dass Warmwasserhängespeicher, die bereits aktiv sind, bevorzugt werden, um die Anzahl der Schaltvorgänge zu minimieren

Die Warmwasserhängespeicher mit dem höchsten Faktor werden in absteigender Reihenfolge zugeschaltet, um die überschüssige Energie aus PV oder Regelreserve aufzunehmen. Der Faktor ( $\gamma_x$ ) wird alle 15s neu berechnet.

### 3.2.2 Gleichmäßig bezogen auf Nennleistung

Im Rahmen dieser Ladestrategie wird die verfügbare Energie proportional zur Nennleistung der einzelnen Warmwasserhängespeicher verteilt, sodass leistungsstärkere Geräte einen entsprechend höheren Energieanteil zugewiesen bekommen.

Um dies zu erreichen, werden die Mengen  $E_{tot}^x$  zuerst auf die Warmwasserhängespeichergrößen  $C^x$  normiert.

$$E_{tot,neu}^x = \frac{\min C^n}{C^x} * E_{tot}^x$$

Diese normierten Faktoren fließen nun in die Berechnung des Koeffizienten ein.

$$\alpha_x = 1 - \frac{E_{tot,neu}^x - \frac{\min E_{tot,neu}^x}{n}}{\sum_{i=1}^n E_{tot,neu}^i - \frac{\min E_{tot,neu}^x}{n} * n}$$

$$\beta = 1 - \frac{SoC_x}{SoC_{MAX}^x}$$

$SoC_x$  ... Momentaner Ladestand von Boiler  $x$

$SoC_{MAX}^x$  ... Maximal möglicher Ladestand von Boiler  $x$

Erneut ergeben sich damit folgende Priorisierungsfaktoren der Warmwasserhängespeicher:

$$\gamma_x = a * \alpha_x + b * \beta_x + \psi$$

mit

$$a + b = 1$$

$$\psi = \begin{cases} 1, & \text{wenn Boiler } x \text{ im vorherigen Zeitintervall eingeschaltet war.} \\ 0, & \text{wenn Boiler } x \text{ im vorherigen Zeitintervall ausgeschaltet war.} \end{cases}$$

Die Warmwasserhängespeicher mit dem höchsten Faktor werden in absteigender Reihenfolge zugeschaltet, um die überschüssige Energie aus PV oder Regelreserve aufzunehmen. Der Faktor ( $\gamma_x$ ) wird alle 15s neu berechnet.

### 3.2.3 Prozent auf Basis des Warmwasserverbrauchs im gewählten Zeitraum

Warmwasserhängespeicher mit höherem Warmwasserverbrauch erhalten im Rahmen dieser Strategie einen größeren Anteil der verfügbaren Energie aus Photovoltaik oder Regelenergie.

$E_{ges}^x$  beschreibt den gesamten Warmwasserverbrauch, unabhängig davon, ob dieser durch Netz oder- PV-Strom oder durch Regelenergie gedeckt wurde.

Die Koeffizienten berechnen sich dabei folgendermaßen:

$$\alpha_x = 1 - \frac{E_{tot}^x}{E_{ges}^x}$$

$E_{tot}^x$  ... aus PV und Regelenergie bezogene Energiemenge

$E_{ges}^x$  ... gesamte für Warmwasser bezogene Energiemenge

$$\beta = 1 - \frac{SoC_x}{SoC_{MAX}^x}$$

$SoC_x$  ... Momentaner Ladestand von Boiler  $x$

$SoC_{MAX}^x$  ... Maximal möglicher Ladestand von Boiler  $x$

Erneut ergeben sich damit folgende Priorisierungsfaktoren der Warmwasserhängespeicher:

$$\gamma_x = a * \alpha_x + b * \beta_x + \psi$$

mit

$$a + b = 1$$

$$\psi = \begin{cases} 1, & \text{wenn Boiler } x \text{ im vorherigen Zeitintervall eingeschaltet war.} \\ 0, & \text{wenn Boiler } x \text{ im vorherigen Zeitintervall ausgeschaltet war.} \end{cases}$$

Die Warmwasserhängespeicher mit dem höchsten Faktor werden in absteigender Reihenfolge zugeschaltet, um die überschüssige Energie aus PV oder Regelreserve aufzunehmen. Der Faktor ( $\gamma_x$ ) wird alle 15s neu berechnet.

### 3.2.4 Unterscheidung für alle Ladestrategien ob ein Warmwasserhängespeicher mehr oder ein Warmwasserhängespeicher weniger

Im Kontext der Verwendung nicht-modulierender On/Off-Warmwasserhängespeicher, die im Betrieb stets mit ihrer Nennleistung arbeiten, ergeben sich spezifische Herausforderungen bei der Nutzung von PV-Überschussstrom. Insbesondere tritt die Situation auf, dass zum Zeitpunkt verfügbarer PV-Erzeugung eine zusätzliche vollständige Zuschaltung eines weiteren Warmwasserhängespeichers – im Folgenden als „Grenzwarmwasserhängespeicher“ bezeichnet – nicht allein durch die PV-Leistung gedeckt werden kann. Es stellt sich somit die Frage, ob die anteilige PV-Energie ungenutzt ins Netz eingespeist („Warmwasserhängespeicher weniger“) oder durch Kombination mit Netzstrom zur Ladung des Grenzwarmwasserhängespeichers verwendet werden sollte („Warmwasserhängespeicher mehr“).

Im Szenario „Warmwasserhängespeicher weniger“ wird bewusst auf eine Ladung des Grenzwarmwasserhängespeichers verzichtet, sofern dessen Betrieb nicht ausschließlich durch PV-Strom erfolgen kann. Die Konsequenz ist, dass in diesen Fällen ein Teil des erzeugten PV-Stroms ins Netz eingespeist wird. Der Vorteil dieses Ansatzes liegt darin, dass zunächst kein Netzstrom bezogen wird und somit ausschließlich mit grünem Strom geladen wird. Dies führt auch dazu, dass die priorisierten Warmwasserhängespeicher immer mehr PV-Strom bekommen als die weniger priorisierten, wodurch eine der Fairnessstrategie entsprechenden Verteilung erreicht wird. Gerade bei hoher PV-Verfügbarkeit im Verhältnis zum Speichervolumen wird somit die Menge an bezogenen Netzstrom minimiert. Sollte zur Ladung der Warmwasserhängespeicher jedoch sowieso ein signifikanter

Anteil an Netzstrom nötig sein, birgt das Szenario Warmwasserhängespeicher weniger jedoch das Risiko einer reduzierten Eigennutzung des erzeugten PV-Stroms.

Demgegenüber priorisiert das Szenario „Warmwasserhängespeicher mehr“ zunächst die vollständige Ausschöpfung der PV-Erzeugung innerhalb des Systems. Hier wird der Grenzwarmwasserhängespeichers auch dann geladen, wenn dies eine anteilige Nutzung von Netzstrom erfordert. Dadurch wird der Eigenverbrauchsanteil maximiert und eine möglichst hohe interne Nutzung des selbst erzeugten PV-Stroms gewährleistet. In Phasen niedriger PV-Erzeugung – etwa in den Morgenstunden – kann dies allerdings zu einem erhöhten Netzstrombezug führen. Zudem ergeben sich zwei zentrale Herausforderungen. Erstens kann es zu einer ungleichen Verteilung von PV-Energie kommen: Priorisierte Warmwasserhängespeicher erhalten in den frühen Stunden nur geringe PV-Anteile und beziehen einen Großteil der Energie aus dem Netz, während weniger priorisierte Warmwasserhängespeicher zu späteren Zeiten mit hoher PV-Verfügbarkeit fast ausschließlich mit erneuerbarer Energie geladen werden. Dadurch wird das Ziel der Fairnessstrategie unterlaufen. Zweitens besteht die Gefahr, dass durch die frühzeitige Vollladung aller Warmwasserhängespeicher mit erheblichem Netzanteil bereits vor dem PV-Peak keine freie Speicherkapazität mehr zur Verfügung steht. In der Folge kann der dann anfallende PV-Strom nicht mehr intern genutzt werden und muss ins Netz eingespeist werden. Dies kann im worst case sogar dazu führen, dass das Ziel die PV-Eigennutzung zu maximieren unterlaufen wird, und sogar mehr PV-Strom ins Netz fließt als beim Szenario „Warmwasserhängespeicher weniger“.

### **3.2.5 Legionellenschaltung**

Das Warmwasser im Speicher wird in regelmäßigen Abständen hoch erhitzt, mit dem Ziel die Vermehrung von gesundheitsgefährdenden Legionellen zu verhindern. Diese sogenannte Legionellenschaltung muss daher bei allen Ladestrategien berücksichtigt werden und ist bisher folgendermaßen umgesetzt:

Die thermische Desinfektion von Warmwasserspeichern wird spätestens dann durchgeführt, wenn innerhalb einer Woche keine ausreichende Durchwärmung des Speichers auf mindestens 60 °C (bzw. 65 °C) erfolgt. Wird diese Voraussetzung nicht erfüllt, wird ein gezielter Desinfektionszyklus durchgeführt, bei dem das Wasser für mindestens eine Minute auf mindestens 65 °C erhitzt wird. In der Praxis geschieht dies meist durch eine wöchentliche, fest eingeplante Legionellenschaltung zu einem definierten Zeitpunkt, wobei aus hygienischen Sicherheitsgründen in der Regel eine durchschnittlichen Zieltemperatur von 70 °C für mindestens 10 Minuten angestrebt wird. Um eine möglichst effiziente Nutzung von PV-Strom zu ermöglichen, kann bereits am Vortag der geplanten Legionellenschaltung überschüssige Solarenergie verwendet werden, um den Warmwasserspeicher über die notwendige Temperaturschwelle aufzuheizen.

### **3.2.6 Umgang mit Leistungsänderungen**

Der Priorisierungsfaktor wird in regelmäßigen Abständen – derzeit alle 15s – neu berechnet. Sinkt die PV-Erzeugung und müssen Warmwasserhängespeicher abgeschaltet werden, erfolgt die Abschaltung in der Reihenfolge der Priorisierungsfaktoren, beginnend mit dem niedrigsten.

Um häufiges Ein- und Ausschalten zu vermeiden, kann eine Hysterese in der Steuerung eingeführt werden. Beispielsweise könnte festgelegt werden, dass die überschüssige PV-Leistung mindestens 60 % der Nennleistung des Warmwasserbereiters betragen muss, damit dieser eingeschaltet wird. Eine Abschaltung erfolgt erst, wenn die überschüssige PV-Leistung unter 40 % der Nennleistung fällt. Diese Schwellenwerte (z. B. 60 % und 40 %) sind flexibel wählbar und können an die jeweilige Anlagenauslegung und das Nutzerverhalten angepasst werden.

### 3.2.7 Maximale Leistungsbegrenzung

Auch wenn – wie weiter oben in Abschnitt 3.1.6 beschrieben – derzeit keine rechtliche Grundlage zur aktiven Begrenzung von Leistungsspitzen besteht, lässt sich im Rahmen der Ladestrategien dennoch eine einfache technische Begrenzung umsetzen: Die Anzahl gleichzeitig eingeschalteter Warmwasserhängespeicher kann während definierter Ladefenster auf einen Maximalwert begrenzt werden. Diese Regelung gilt ausschließlich innerhalb dieser Ladefenster.

## 3.3 Fairness und Aufteilungsschlüssel innerhalb der gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage

Die Entscheidung, ob ein **dynamischer** oder **statischer** Abrechnungstarif für eine gemeinschaftlich genutzte PV-Erzeugungsanlage zum Einsatz kommt, liegt in der Regel beim Wohnbauträger. In der Praxis wird häufig der dynamische Tarif bevorzugt, da er eine effizientere Nutzung der erzeugten PV-Energie ermöglicht. In der vorliegenden Arbeit konzentrieren wir uns jedoch ausschließlich auf die Steuerung der Warmwasserhängespeicherlast, ohne Zugriff auf die restliche Haushaltslast zu haben. Eine umfassende Steuerung unter Berücksichtigung der gesamten Haushaltslast ist aus technischen und datenschutzrechtlichen Gründen derzeit nicht möglich. Zudem müssen klare Systemgrenzen definiert werden, insbesondere hinsichtlich einer gerechten Lastverteilung, die hier auf die faire Verteilung der PV-Energie auf die Warmwasserhängespeicher fokussiert ist.

Beim **statischen** Abrechnungstarif wird ein fester Anteil der erzeugten Energie jedem Haushalt zugewiesen, unabhängig vom aktuellen Verbrauch. Dieses Modell kann jedoch ungünstig sein, da überschüssige Energie nicht optimal genutzt wird, insbesondere in Haushalten mit geringem Stromverbrauch oder bereits vollen Warmwasserhängespeichern. In solchen Fällen wird überschüssige Energie ins Netz eingespeist, wodurch die Eigenverbrauchsquote sinkt. Die Herausforderung, Fairness auf Basis des tatsächlichen Strombezugs der Haushalte zu gewährleisten, ist jedoch aufgrund der fehlenden Daten zu den Haushaltslasten technisch und datenschutzrechtlich nicht umsetzbar. Daher wird dieser statische Abrechnungsschlüssel als nicht mit den entwickelten Fairnessprinzipien vereinbar und als nicht zielführend erachtet.

Der **dynamische** Abrechnungstarif ermöglicht es, die Fairnessstrategien in diesem Modell weitgehend auch in der Abrechnung über den Netzbetreiber abzubilden – vorausgesetzt, der gesamte Verbrauch der Haushalte überschreitet nicht die erzeugte PV-Energie. Tun sie dies nicht, können die Energiemengen 1:1 entsprechend den festgelegten Fairnessprinzipien verteilt werden, sodass die Zuweisung der PV-Energie an die Haushalte genau der tatsächlichen Nutzung entspricht. Die Fairness wird somit in der Praxis realisiert, da die Verteilung der Energie transparent und

bedarfsorientiert erfolgt. Eine Einschränkung hierbei ist jedoch, dass die restlichen Haushaltslasten, die nicht durch die Warmwasserhängespeicherlast erfasst werden, diese Zuweisung verzerren können und auch tatsächlich verzerren werden. Darüber hinaus ist der Gesamtverbrauch der einzelnen Haushalte nicht notwendigerweise fair verteilt, da hierzu die restliche Momentanhaushaltslast der Haushalte einbezogen werden müsste. Im besten Fall wird jedoch der aktuelle PV-Überschuss des gesamten Gebäudes betrachtet, d. h. der Überschuss, bei dem der Verbrauch bereits abgezogen wurde. Dies hilft, Verzerrungseffekte zu minimieren und sorgt dafür, dass nur der tatsächlich überschüssige Anteil der Energie verteilt wird.

## 4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die im Projekt HoWaFlex2Market entwickelten Ladestrategien wurden entwickelt, um elektrische Warmwasserhängespeicher gezielt zur Flexibilisierung des Stromverbrauchs in Energiegemeinschaften sowie Regelenergie einzusetzen. Unter Berücksichtigung von regulatorischen Rahmenbedingungen, technischen Anforderungen, Nutzer:innenkomfort und Fairness wurden modulare Ansätze konzipiert, die beliebig kombiniert werden können sollen. Die entwickelten Strategien wurden dabei so gestaltet, dass sie sich auch auf andere Gebäude und Nutzungskontexte übertragen lassen. Durch die Kombination aus PV-Eigenverbrauchsoptimierung, Lastverschiebung und Regelreserve entsteht ein innovatives Gesamtkonzept für die Nutzung dezentraler Flexibilität in Gebäuden.

Im weiteren Projektverlauf sollen diese Strategien in Demonstrationsanlagen sowie mithilfe eines digitalen Zwillinges getestet und validiert werden. Dabei steht die Skalierbarkeit ebenso im Fokus wie die Nutzer:innenakzeptanz und die Integration in bestehende Markt- und Abrechnungsprozesse. Mittelfristig sollen die Erkenntnisse dazu beitragen, den Einsatz flexibler Verbrauchseinheiten in der Praxis zu erleichtern und konkrete Beiträge zur Umsetzung der Energiewende zu leisten.

## 5 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

| Abkürzung       | Beschreibung   |
|-----------------|--|
| APG             | Austrian Power Grid (Übertragungsnetzbetreiber Österreich) |
| CO <sub>2</sub> | Kohlendioxid   |
| Elwg            | Elektrizitätswirtschaftsgesetz                             |
| ELWOG           | Elektrizitätswirtschafts- und Organisationsgesetz          |
| DSM             | Demand Side Management                                     |
| EU              | Europäische Union  |
| EAG             | Erneuerbaren Ausbau Gesetz                                 |
| EEG             | Erneuerbare Energiegemeinschaft                            |
| EDA             | Energiewirtschaftlicher Datenaustausch                     |
| EG              | Energiegemeinschaft  |

|       |                                       |
|-------|---------------------------------------|
| GEA   | Gemeinschaftliche Erzeugungsanlage    |
| GEsbR | Gesellschaft bürgerlichen Rechts      |
| GmbH  | Gesellschaft mit beschränkter Haftung |
| KMU   | Klein- und Mittelunternehmen          |
| KPI   | Key Performance Indikator             |
| PV    | Photovoltaik                          |

## 6 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1: Rechtlicher Rahmen für Energiegemeinschaften auf EU-Ebene.....                             | 9  |
| Abbildung 2: Charakteristika von Erneuerbaren Energiegemeinschaften & Bürgerenergiegemeinschaften ..... | 10 |
| Abbildung 3: Überblick über beispielhafte Lade- & Ladeverbotsfenster.....                               | 17 |
| Abbildung 4: Allgemeines Schema zur Priorisierung der Warmwasserhängespeicher beim Laden .....          | 23 |